



Contrôle du remplissage détritique tardiglaciaire à holocène d'une haute vallée alpine par les dynamiques de versant : l'exemple de la moyenne Maurienne (Savoie).

Christian Crouzet, Gérard Nicoud, Serge Fudral, Jean-Paul Rampnoux, Marc Dzikowski, André Paillet, P. Lacombe

► To cite this version:

Christian Crouzet, Gérard Nicoud, Serge Fudral, Jean-Paul Rampnoux, Marc Dzikowski, et al.. Contrôle du remplissage détritique tardiglaciaire à holocène d'une haute vallée alpine par les dynamiques de versant : l'exemple de la moyenne Maurienne (Savoie).. Quaternaire, 1999, 10 (1), pp.37-48. hal-00736927

HAL Id: hal-00736927

<https://hal.science/hal-00736927>

Submitted on 30 Sep 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONTRÔLE DU REMPLISSAGE DÉTRITIQUE TARDIGLACIAIRE A HOLOCÈNE D'UNE HAUTE VALLÉE ALPINE PAR LES DYNAMIQUES DE VERSANT : l'exemple de la moyenne Maurienne (Savoie)



Christian CROUZET*, Gérard NICOUD**, Serge FUDRAL**,
Jean Paul RAMPNOUX**, Marc DZIKOWSKI**, André PAILLET**
et Patrick LACOMBE***

RÉSUMÉ

Les cônes de déjection constituent le trait morphologique majeur de l'étroite vallée de l'Arc (Savoie), entre les ombilics de Saint-Jean-de-Maurienne et Saint-Michel-de-Maurienne.

Une reconstitution géométrique des différents corps sédimentaires constitutifs de ces cônes a été rendue possible grâce à une étude géomorphologique, à la synthèse des données de forages de diverses campagnes de reconnaissance pour EDF et Alpetunnel et à l'utilisation de résultats géophysiques.

Un calage stratigraphique a été établi à partir de datations de bois fossilisés puis une évolution paléogéographique est proposée. Elle montre que, dans cette partie de la vallée, le remplissage tardiglaciaire à holocène est fortement contrôlé par les dépôts torrentiels latéraux à laves, des écroulements rocheux massifs et des glissements de terrain. En barrant cette étroite vallée, ces dépôts gravitaires favorisent localement une sédimentation lacustre.

Mots-clefs : Vallée glaciaire, formations de versant, torrentialité, Tardiglaciaire, Holocène, Vallée de l'Arc, Maurienne, Savoie, Alpes, France.

ABSTRACT

LATE GLACIAL HOLOCENE INFILL IN A HIGH ALPINE VALLEY : the Maurienne valley (Savoie)

Alluvial fans represent the main geomorphological feature of the narrow valley between the Saint Jean de Maurienne et Saint Michel de Maurienne glacial ombilics.

A sedimentary body reconstruction of the nested cones was carried out from the geomorphological and the geophysical data and from drillings managed by EDF and Alpetunnel.

Fossilised wood permitted a stratigraphic time calibration and a paleogeographic evolution is proposed. The late glacial fill is highly controlled by lateral torrential deposits, mud flows, rock collapses and landslides. These deposits have created a dam and permitted an upstream lacustrine deposit.

Key-words : Glacial valley, torrential stream, Late Glacial, Holocene, Arc valley, Savoie, Alps, France.

* Institut für Geologie und Paläontologie, Abteilung Geophysik, Universität Tübingen, Sigwartstrasse 10, 72076 TÜBINGEN, Allemagne.

** Laboratoire de géologie et d'hydrogéologie des aquifères de montagne, Université de Savoie, 73376 LE BOURGET DU LAC, France.

INTRODUCTION

Peu de données existent sur les modalités du remplissage postglaciaire des hautes et étroites vallées alpines. La plupart des travaux relèvent essentiellement de données géomorphologiques et de rares coupes naturelles. Le schéma classique en terme de verrous et d'ombilics à remplissage lacustre surmonté par des alluvions torrentielles, est valable, en général, dans la partie élargie des vallées. Il doit toutefois être complété. Il est, en effet, nécessaire de tenir compte des très importants apports latéraux (écroulements de versant et cônes alluviaux) dans les zones de raccordement qui sont en général les zones plus étroites des vallées. L'exemple de la région de Saint Julien Montdenis, à l'amont de Saint-Jean-de-Maurienne, a fait l'objet d'une étude détaillée pour l'implantation de la tête d'entrée du futur tunnel TGV Lyon - Turin. Dans cette partie de la vallée de la Maurienne, située dans une zone de raccordement entre les deux ombilics, celui amont de Saint-Michel-de-Maurienne et celui aval composite de Saint-Jean-de-Maurienne, environ 65 forages et des campagnes de reconnaissances géophysiques ont été réalisés.

Ce travail a été mené en trois étapes principales. Au cours de la première, l'analyse morphologique classique jointe à diverses constructions géométriques établies à partir des lois connues du remplissage quaternaire d'une ancienne vallée glaciaire, nous permettent de mettre en évidence les différents objets et d'établir les relations entre les cônes alluviaux et le réseau hydrographique. La deuxième a consisté au dépouillement de la totalité des données de forages. Elle a conduit à une approche assez cohérente des formations constitutives des cônes des torrents du Saint-Julien et du Claret. La troisième, enfin, a concerné la définition de la géométrie du bed-rock dans ce secteur grâce à des données de sismique réfraction jointes aux données de forages et à des extrapolations de pente.

L'ensemble des résultats obtenus met en évidence le dynamisme particulier du remplissage postglaciaire de cette partie de la vallée de la Maurienne, essentiellement lié à des apports latéraux.

CADRE LITHOSTRUCTURAL GÉNÉRAL

La région de Saint Julien - Montdenis se situe à la limite des zones externe et interne alpines. Elle recoupe plus particulièrement les unités à flysch tertiaire, dont l'unité dite ultra-dauphinoise de R. Barbier (1948), et les unités subbriançonnaises, séparées par le chevauchement pennique frontal (CPF). Ce contact majeur est largement souligné par des affleurements de gypses et de cargneules. Ces deux ensembles s'opposent à la fois par leurs caractéristiques lithostratigraphiques et structurales (fig. 1).

1) LES UNITÉS A FLYSCH

Des deux grandes unités cartographiées à ce jour, seule la plus interne ou unité Cheval Noir - Casse Massion (Serre, 1983), définie par Martinez-Reyes (1980) plus au Nord, sous le vocable d'Unité de Cheval Noir - Grand Coin, nous intéressera. Elle comprend un flysch d'âge éocène supérieur

surmontant, en discordance cartographique, un substratum à affinité briançonnaise (Martinez-Reyes *et al.*, 1979) qui ne se rencontre que plus au Nord. Seul le flysch est largement représenté dans le secteur étudié. De sa base au sommet, il est formé par :

- un ensemble de conglomérats de base et de grès (Fcb) ;
- un ensemble de calcaires marneux noirs plus ou moins gréseux (Flysch grésocalcaire = Fcg) ;
- un ensemble de flysch schisteux noir, siliceux avec des bancs gréseux et des calcaires principalement vers le sommet (Fs). Cet ensemble a été, par le passé, largement exploité pour les ardoises.
- un ensemble de flysch gréseux, surtout développé au sud de l'Arc (Fg) ;
- un olistostrome sommital (Fos) (Bravard *et al.*, 1981) qui correspond à l'ancienne «zone des écailles externes» de Barbier (1948), maintenant rattachée à l'unité Cheval Noir - Casse Massion (Serre, 1983).

Dans ce dernier, des olistolites hectométriques de calcaires et de calcschistes d'âge crétacé et éocène sont dispersés dans une matrice schisteuse noire peu calcaire. Localement, un peu de gypse et de cargneules peut être rencontré. S'agit-il d'évaporites et de cargneules à l'état d'olistolites dans l'olistostrome sommital comme proposé dans les nappes helvétiques du Chablais par De Lepinay (1981) et dans notre secteur par Serre (1983) ou de matériaux marqueurs d'un contact tectonique visible à Montdenis (Plan du Cuir) annonçant le chevauchement pennique frontal tout proche comme proposé initialement par Barbier (1948) et repris sur la carte au 1/50.000 Saint-Jean-de-Maurienne (Barfety *et al.*, 1977). Du point de vue structural, la série de flysch dessine un monoclinale dont le pendage général est de 30° à 40°E. De nombreux petits plis d'échelle métrique sont présents et sont associés à une schistosité bien développée.

2) L'UNITÉ SUBBRIANÇONNAISE DU PERRON DES ENCOMBRES

Dans le secteur étudié, la zone subbriançonnaise est représentée par l'unité du Perron des Encombres définie par Barbier (1948) et réétudiée par Perez-Postigo (1988). Cette unité appartient à la nappe dite du Pas du Roc. Le chevauchement pennique frontal limitant la base de la zone subbriançonnaise est souligné par une bande assez continue d'évaporites. L'unité du Perron des Encombres est essentiellement constituée, au droit de la vallée de la Maurienne, par des calcaires, des calcaires marneux et des marnes du Jurassique à passées bréchiqes (Brèches du Télégraphe). Du point de vue structural, l'unité du Perron des Encombres est remarquable par ses plis isoclinaux bien visibles dans le paysage en rive droite, au niveau de la Croix des Têtes.

Par ailleurs, le recouvrement quaternaire sur les versants comprend surtout des dépôts glaciaires. Il est particulièrement bien conservé dans le bassin versant du torrent de Saint Julien où les terrains sous-jacents ne forment que quelques pointements isolés. Les placages morainiques comportent des éléments polygéniques provenant en partie des zones internes qui témoignent du passage du gla-

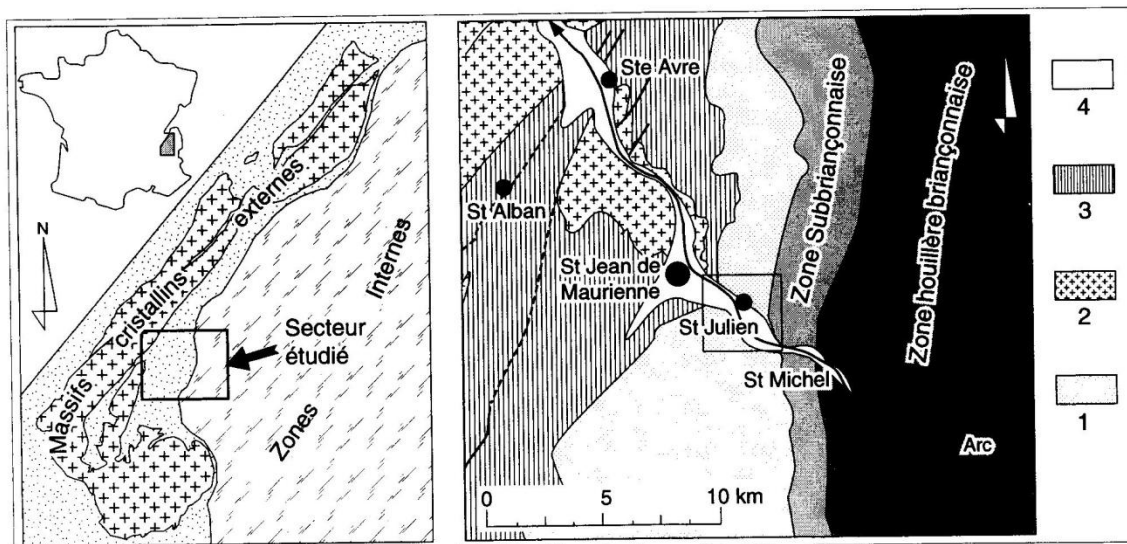


Fig. 1 : Cadre structural de la région de Saint Julien Montdenis (1) : Unité à flysch Cheval Noir - Casse Massion, (2) : Socle cristallin, (3) : Couverture sédimentaire de la zone dauphinoise, (4) : Alluvions de fond de vallée.
 Fig. 1 : Structural setting of the Saint Julien Montdenis area. (1) : Cheval Noir - Casse Massion Flysch Unit, (2) : Crystalline basement, (3) : Sedimentary cover of the Dauphinoise Zone, (4) : Alluvial deposits.

cier de l'Arc. Notons également la présence de dépôts juxtaglaciaires de type terrasse de kame à l'aval du hameau des Essarts, sur la commune de Saint Julien, présentant une stratification subhorizontale. Celle-ci est soulignée par des blocs arrondis, polygéniques provenant très probablement du démantèlement des moraines voisines. La matrice fine est noire et provient en grande partie du flysch schisteux. Cet ensemble, qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, est surmonté par des éboulis.

Le flysch altéré et les moraines saturées d'eau, associés à la vigueur des pentes, sont sujets à de nombreux glissements locaux.

L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE

La morphologie du secteur étudié a été abordée principalement par des observations de terrain, l'analyse des photos aériennes, la carte topographique actuelle et la réalisation de profils en long de cours d'eau. Toutefois, les nombreux aménagements anthropiques rendent difficile une lecture objective de cette morphologie actuelle. Aussi, nous avons eu recours au cadastre sarde de 1732 à 1735, aux levés topographiques de 1889-1890 et aux descriptions «anciennes» (Mougin, 1914 ; Barbier, 1948).

Ces observations sont représentées sur la figure 2.

La plaine alluviale actuelle est réduite au lit majeur de l'Arc coïncé entre les différents cônes de déjection qui constituent le trait morphologique majeur de la vallée. L'étude détaillée de ces derniers fait l'objet de la présente note.

De l'aval vers l'amont, nous rencontrons :

- le cône composite de Villargondran, en rive gauche de l'Arc ;
- le cône de Saint Julien qui peut se diviser en un cône récent et un cône plus ancien, en rive droite de l'Arc ;

- les dépôts à morphologie de cônes anciens du Bochet et de la Combe des Avalanches en rive gauche de l'Arc, auxquels il faut ajouter deux petits cônes subactuels, emboîtés et profondément encaissés ;

- et le vaste cône du Claret, en rive droite de l'Arc.

Une seconde observation mérite une attention particulière. Les versants de la vallée sont raides. Le bas des pentes est largement tapissé par des éboulis. Les glissements de versant, plus ou moins localisés, sont nombreux, associés à des cicatrices de niches d'arrachement.

L'un de ces glissements est actif, c'est celui de la route de Montricher en rive gauche de l'Arc, à l'amont SE du hameau du Bochet. Il est bien visible dans la morphologie et les travaux importants réalisés pour stabiliser la route d'accès à Montricher et à la station des Karellis en témoignent.

D'autres, en rive droite, sont relativement anciens car recouverts à leur base par des éboulis. En particulier, deux niches d'arrachement bordent la vallée. La plus occidentale est située au dessus du secteur Villard Clément - Saint Barthélémy. La niche orientale quant à elle, est située à l'aplomb de la Ruaz, à l'Est de Saint Julien. Les matériaux glissés non affleurants, doivent, en conséquence, subsister en profondeur, en pied de versant.

Enfin, la morphologie originale en chevrons et gradins des interfluvies de la rive droite de la vallée, reflète la présence de failles transversales à la stratification. Celles-ci ont été recoupées en profondeur par la galerie EDF de l'Echaillon et, dans celle-ci, ont une direction N20 et un pendage vers l'Ouest (Ménard *et al.*, 1994).

La présence de failles E-W est également possible mais cette direction n'a pas été rencontrée dans la galerie EDF. Toutefois, à l'Ouest du débouché du torrent de Saint Julien, la morphologie du versant présente une facette triangulaire qui pourrait suggérer l'existence d'une faille normale en bordure de vallée (Hamblin, 1976 ; Wallace, 1977 et Armijo *et al.*, 1991).

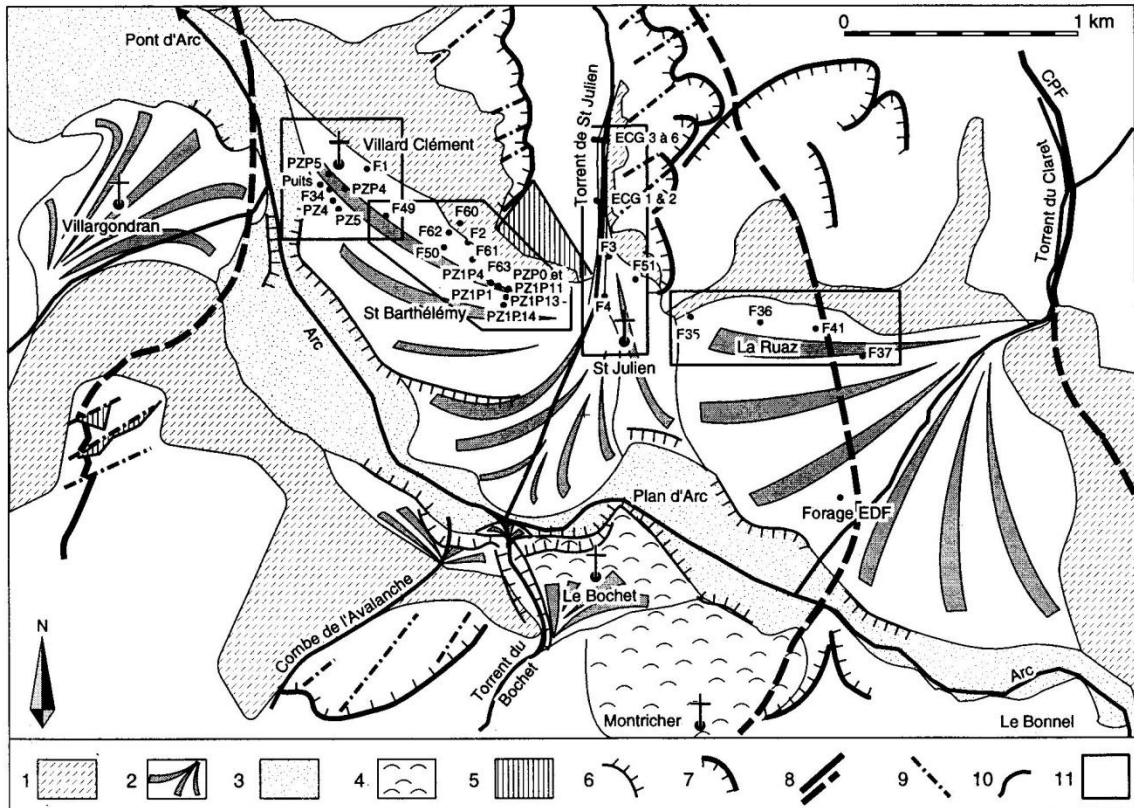


Fig. 2 : Cadre morphologique de la région de Saint Julien Montdenis et localisation des sondages. (1) : Eboulis, (2) : Cône de déjection, (3) : Alluvions récentes de l'Arc, (4) : Glissement de versant, (5) : Facette triangulaire, (6) : Limite d'ablation des cônes anciens, (7) : Niche d'arrachement, (8) : Contact tectonique (a) observé, (b) masqué, (9) : Failles déduites de la morphologie, (10) : Cours d'eau, (11) : Substratum rocheux indifférencié.

Fig. 2 : Morphological setting of the Saint Julien Montdenis area and boreholes location. (1) : Fallen rocks, (2) : Alluvial cone, (3) : Arc deposits, (4) : Side slumping, (5) : Facetted spur, (6) : Ablation limit, (7) : Scar, (8) : Tectonic contact (a) observed, (b) supposed, (9) : Faults deduced from the morphology, (10) : Water course, (11) : Undifferentiated bed-rock.

- Le profil en long de l'Arc (fig. 3A), entre Hermillon à l'aval et Saint Michel à l'amont montre une pente moyenne relativement forte (1,44%) et présente trois parties distinctes. La partie aval, d'Hermillon au Pont d'Arc (Villard Clément) montre une pente faible (1%). Celle-ci n'est pas ou peu perturbée par l'arrivée de l'Arvan qui est pourtant un affluent important. Dès Pont d'Arc, le profil prend une pente plus prononcée (1,9%) qui se poursuit jusqu'au verrou relatif de la Courbacière sur lequel est installé le barrage EDF Calypso. En amont de ce verrou, la pente de l'Arc redevient faible (1%). Un nouveau profil, imposé par le verrou est donc atteint. Notons, au passage, l'absence d'influence du front pennique sur le profil en long de la rivière.

- Le profil en long du torrent actuel du Bochet est plus complexe (fig. 3B). Il présente, dans sa partie basse, trois ruptures de pente. La partie aval du profil montre une pente équilibrée avec le cône actuel. Une première rupture, située au niveau du pont de la R.D. 81, peut être interprétée comme la limite d'érosion régressive récente jusqu'au radier de l'ouvrage. Au-dessus de cette rupture, on observe à nouveau une pente plus faible ; la seconde rupture de

pente, est située dans l'entaille du dépôt ancien. Enfin, la troisième rupture de pente correspond à la limite lithologique de passage au flysch encaissant.

- Quant au torrent de Saint Julien, dans sa partie aval, son profil en long (fig. 3C) ne présente pas de ruptures de pente. Ceci est dû en grande partie aux nombreux aménagements anthropiques de régulation ayant profondément stabilisé le cours du torrent depuis la fin du XIX^e (Marnez, 1999).

Parallèlement à l'étude des profils en long, nous avons analysé les relations existant entre les cônes, les torrents tributaires et l'Arc, rivière principale qui draine l'ensemble de la vallée. Le village de Saint Julien est bâti sur un vaste cône de déjection ancien profondément entaillé à son aval par l'Arc et dans lequel vient s'emboîter un cône récent. De même, en rive gauche, le village du Bochet se trouve sur un dépôt à morphologie de cône de déjection entaillé à la fois par l'Arc et par le petit torrent issu de la combe du Bochet.

Au niveau du fonctionnement historique, les cônes actuels du Bochet étaient déjà actifs lors de l'établissement du cadastre sarde de 1735 où la mention «sol nu» est por-

tée (Ballandras, 1997). Quant au cône actuel du Saint Julien, il est actif et a obligé à de nombreux aménagements. Par exemple, la ligne de chemin de fer, ouverte en 1862, a été mise en tunnel sur 180 m de long suite aux crues de 1872 (Ballandras, 1997). De même, la confluence du torrent de Saint Julien se trouvait, en 1914 (Mougin, 1914) à 170 m à l'aval de la confluence reportée sur le cadastre sarde de 1732.

De cette analyse morphologique, il ressort que :

- le cône ancien du Saint Julien est entaillé par son torrent et par l'Arc ;
- le cône récent du Saint Julien est entaillé par l'Arc à l'aval alors qu'il s'intrique dans les alluvions de l'Arc à l'amont, au niveau de Plan d'Arc. Ce cône est en équilibre avec son torrent ;
- le dépôt ancien du Bochet, à morphologie de cône, est profondément entaillé par ses cônes récents. Il présente, par ailleurs, une surface en pente forte (25%) dominant l'Arc de plus de 80 m ;
- les cônes actuels du Bochet et du Claret sont alluvionnés par leur torrent et raccordés à l'Arc.
- ces apports torrentiels déterminent en permanence l'évolution du profil de l'Arc (Marnez, 1999).

ANALYSE DES DONNÉES DE SONDAGES ET D'OBSERVATIONS DE TERRAIN

Nous avons eu accès aux données des différentes campagnes de reconnaissance effectuées pour le compte d'Alpetunnel entre 1990 et 1998 pour le futur tunnel TGV transalpin, ainsi qu'à diverses données relatives aux aménagements hydroélectriques EDF réalisés entre 1967 et 1974. La répartition géographique des forages qui sont concentrés sur la tête d'entrée du futur tunnel, d'une part, et le long des différents tracés étudiés, d'autre part, impose une synthèse partielle par secteur. Tous les forages sont implantés dans les formations superficielles du remplissage de la vallée de l'Arc, plus particulièrement à la surface des cônes de déjection latéraux de la rive droite.

L'essentiel des forages est malheureusement de type destructif, d'où de très grandes difficultés pour interpréter des descriptions parfois sans significations géologiques probantes.

SECTEUR DE VILLARD CLÉMENT (fig. 4)

Dans la partie occidentale du cône ancien de Saint Julien, 27 sondages destructifs et carottés ont été réalisés. Ils montrent la complexité des formations rencontrées. Leur

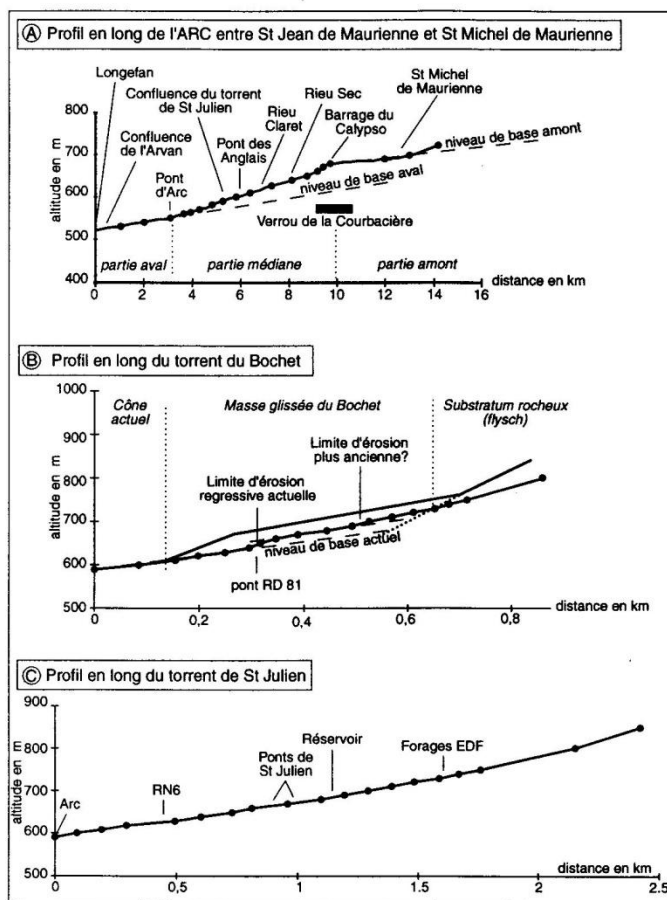


Fig. 3 : Analyse des profils en long des torrents.
Fig. 3 : Analysis of the torrent lengthways section.

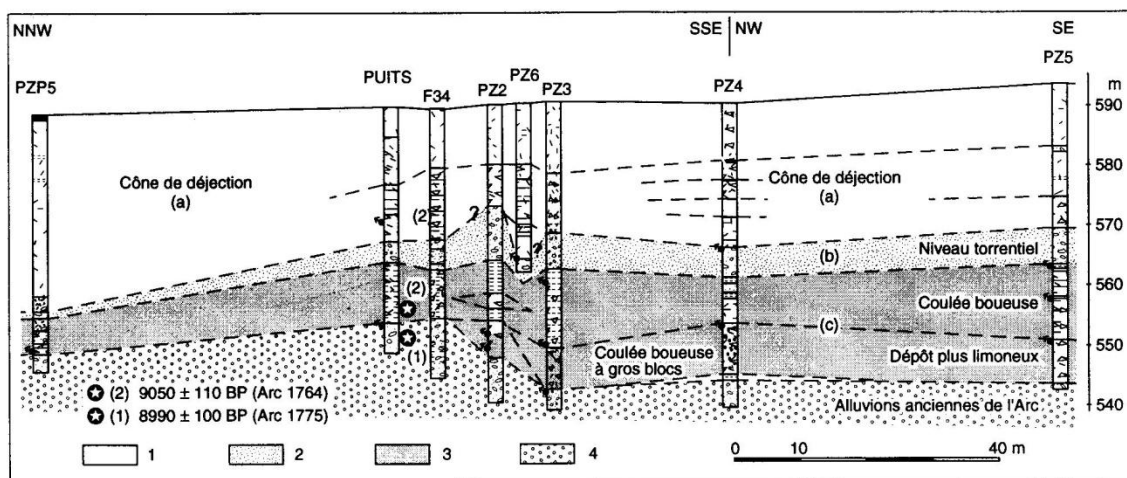


Fig. 4 : Le remplissage torrentiel dans le secteur de Villard Clément (voir localisation sur la figure 2). (1) : Cône de déjection, (2) : Passée torrentielle, (3) : Coulée boueuse, (4) : Alluvions « anciennes » de l'Arc.
Fig. 4 : Torrential filling in the Villard Clément area (see location on figure 2). (1) : Alluvial cone, (2) : Torrential episode, (3) : Mud flow, (4) : Old alluvial deposits of the Arc river.

étude est très importante car ce secteur est localisé à l'aplomb de la tête d'entrée du futur tunnel.

Globalement, quatre formations principales superposées ont été différenciées dans ce secteur. Il s'agit, de haut en bas :

- d'un ensemble de matériaux (a) issus du cône ancien du torrent de Saint Julien et du versant, à matrice essentiellement limoneuse de couleur beige. Cet ensemble comporte quelques laves torrentielles à matrice argileuse gris foncé. Un âge de 7856 ± 116 BP (ARC 1349) a été attribué à du bois récupéré près de la RN6 (Ballandras, 1997).

- de formations d'épandage torrentiel (b), constituées de graviers arrondis et de sables quasiment dépourvus de fines. Le toit de cet ensemble, qui se retrouve dans tous les forages, se situe entre 20 et 35 m de profondeur. Son épaisseur varie de 1 m à 9 m. Quelques faibles venues d'eau sont présentes dans ces niveaux.

- de matériaux de type coulée boueuse (ou lave torrentielle) (c), contenant des blocs hétérométriques liés par une matrice argileuse plastique noire. Un âge à 9050 ± 110 BP (ARC 1764) a été obtenu sur du bois remanié, à la profondeur de 35 m dans le puits principal. Cet ensemble constitue un horizon imperméable qui est responsable de la mise en charge de l'eau située dans l'ensemble inférieur.

- de formations alluviales (d) à éléments arrondis, polygéniques avec une matrice sableuse bien lavée. Cet ensemble correspond très probablement à des alluvions « anciennes » de l'Arc. Elles ont fourni des bois de *Pinus sp.* qui ont été datés à 8990 ± 100 BP (ARC 1775), à la profondeur de 40 m. Du point de vue hydrogéologique, cet ensemble constitue un aquifère en charge. Le niveau statique s'établit une vingtaine de mètres au dessus du toit de cet ensemble et environ dix mètres au dessus du niveau actuel de l'Arc. Il n'y a donc pas de relation directe, au niveau de Villard Clément, entre l'Arc et la nappe des alluvions « anciennes » de l'Arc.

Les corrélations établies entre les différents forages montrent clairement que le développement du cône ancien

visible en surface et d'âge holocène (a) a débuté postérieurement à la mise en place de coulées boueuses (c) et de passées torrentielles (b) pauvres en fines. La surface du toit alluvial ancien d'âge holocène serait irrégulière, comme en témoigne la rupture de pente mise en évidence entre les forages F34 et PZ3. L'origine d'une telle rupture de pente n'est pas déterminée à ce jour. Il s'agit vraisemblablement de phénomènes de ravinements sédimentaires. Il ne faut pas écarter cependant l'hypothèse tectonique. La rupture de pente pourrait être liée au jeu d'un accident, en extension, affaissant le compartiment sud-est postérieurement au dépôt des passées torrentielles.

SECTEUR DE SAINT BARTHÉLEMY (fig. 5)

A la différence du secteur précédent, le secteur de Saint Barthélémy est très proche du versant rocheux et seulement 15 sondages, surtout destructifs, y ont été réalisés.

Le bed rock (unité à flysch du Cheval Noir - Casse Massion) a été rencontré dans 3 forages (F2, F61 et F62). Le passage au bed rock n'est pas net et se fait grâce à un niveau plus ou moins épais (jusqu'à 15 m) de matériaux de remaniement du versant (éboulis, écroulement).

Les sédiments rencontrés dans ce secteur se décomposent en cinq formations qui sont, de haut en bas :

- une formation relativement homogène (a), de teinte générale beige qui correspond au cône holocène du Saint-Julien. Ces apports sont mélangés de blocs de toutes tailles, très faiblement arrondis par transport et provenant du versant. Les blocs métriques sont anguleux et constitués uniquement de flysch, principalement calcaire. Les éléments décimétriques à centimétriques peuvent être anguleux ou subarrondis. Par ailleurs, de rares éléments « exotiques » ont été rencontrés provenant du remaniement des moraines présentes dans le bassin versant. La matrice est silteuse. Quelques passées, probablement des coulées boueuses très localisées, présentent une matrice argileuse. Vers le bas, les apports sont plus franchement torrentiels,

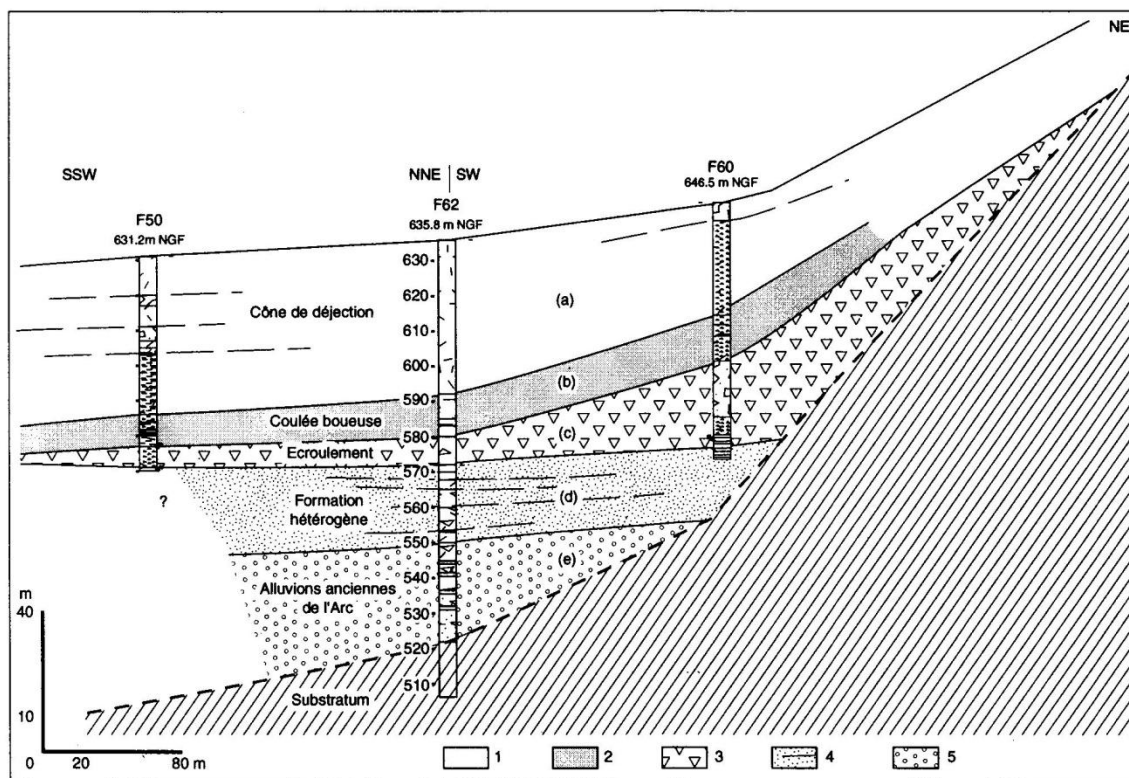


Fig. 5 : Le remplissage torrentiel dans le secteur de Saint Barthélemy (voir localisation sur la figure 2). (1) : Cône de déjection, (2) : Coulées boueuses, (3) : Eroulement, (4) : Formation hétérogène, (5) : Alluvions « anciennes » de l'Arc.

Fig. 5 : Torrential filling in the Saint Barthélemy area (see location on figure 2). (1) : Alluvial cone, (2) : Mud flow, (3) : Side fall, (4) : Heterogeneous formation, (5) : Old alluvial deposits of the Arc river.

formés de sables et de graviers à matériel de flysch, avec très peu de liant matriciel ;

- un horizon de coulées boueuses (b), constituées de blocs de toute taille provenant des divers faciès de flyschs présents dans le bassin versant. La matrice est argileuse, plastique et noire. Ces coulées boueuses, comme à Villard Clément, ont une mise en place de type catastrophique, en quelques heures voire quelques jours comme ce fut le cas au printemps 1965 à Pontamafrey (Goguel, 1968). Ces vastes épandages boueux permettent aussi une bonne corrélation entre forages. Leur puissance est de 10 m environ ;

- des matériaux éroulés (c) à éléments grossiers de flysch. Ils s'épaississent en direction du relief septentrional, montrant parfaitement leur origine ;

- une formation hétérogène (d) où se superposent des matériaux de déjection, d'éroulements et de coulées boueuses ;

- enfin, au-dessous de la cote 550 m, 30 m d'alluvions grossières (e) à alternances sableuses et argileuses qui pourraient être rapportées à l'Arc « ancienne » déjà retrouvée dans le secteur de Villard-Clément.

SECTEUR DE SAINT JULIEN (fig. 6)

Neuf forages EDF et d'Alpetunnel peuvent être regroupés dans ce secteur particulier.

Des éboulis et des formations de versant constituent majoritairement la partie apicale du cône.

Les données issues des 6 forages EDF réalisés en 1967 et 1968, plus à l'amont du cône, pour l'étude géologique de la galerie d'amenée des eaux au complexe de l'Echaillon (bassin de Longefan), conjointement aux sondages réalisés pour le compte d'Alpetunnel, permettent de caractériser la forme du fond du thalweg du torrent de Saint Julien encaissé dans le bed-rock. Cette entaille est localement recouverte par des éléments rocheux glissés sur une épaisseur de plus de 21 m (forage EGC 67-2).

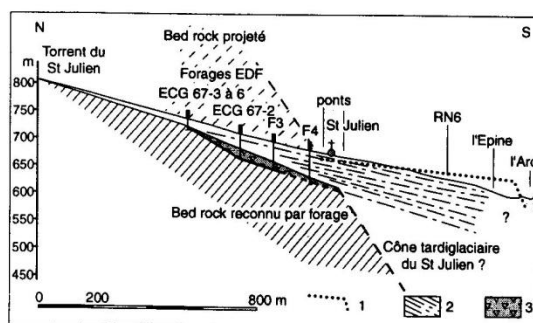


Fig. 6 : Coupe géologique transversale interprétative de la vallée de l'Arc au niveau de Saint Julien. (1) : Cône de déjection récent, (2) : Cône de déjection holocène, (3) : Eroulement rocheux.

Fig. 6 : Interpretation Transversal Geologic cross section of the valley in the Saint Julien area. (1) : Recent alluvial cone, (2) : Holocene alluvial cone, (3) : Side fall.

SECTEUR DE LA RUAZ (fig. 7)

Ce secteur comprend 10 forages surtout destructifs : 4 réalisés pour le compte d'Alpetunnel et 6 pour le compte d'EDF. Il est situé sur la bordure occidentale du cône récent du Claret qui s'appuie sur le cône holocène du Saint Julien. La partie supérieure des forages montre des formations typiques de cône de déjection (a) appartenant au Claret. L'épaisseur de cet ensemble peu atteindre 45 m. En dessous de ces matériaux de déjection, les forages recoupent un écroulement de versant (b) où ont été relevées de nombreuses pertes de cuttings et d'eau en forage. Cet écroulement correspond à la vaste niche d'arrachement visible dans le versant au-dessus de la Ruaz.

Notons, enfin, que le forage F37 a rencontré à 619 m NGF une formation de « galets de schistes et de calcschistes bien lavés » (c). Il s'agit très probablement d'alluvions torrentielles d'un cône plus ancien du Claret, antérieur à l'écroulement de la Ruaz.

Cet écroulement a fait obstacle au développement vers l'Est du cône correspondant du Saint Julien. Celui-ci n'a pas été retrouvé en sondages.

SECTEUR DU BOCHET (fig. 8), EN RIVE GAUCHE DE L'ARC

Aucun forage ne traverse le puissant dépôt du Bochet mais l'observation est facilitée par l'érosion très active qui entaille cette formation perchée.

Le hameau du Bochet est installé, en rive gauche de l'Arc, sur une accumulation qui domine l'Arc de plus de 80 m. C'est une série homogène, à éléments caillouteux, essentiellement de flysch schisto-gréseux, pas ou peu roulés, disposés en vrac, sans arrangement ni stratification et liés par une matrice silto-sableuse. Quelques blocs démesurés de grès, de l'ordre du m³, émoussés, pâtinés et striés, y sont disposés en désordre. Ils proviennent des accumulations morainiques du versant. D'ailleurs, sont présents des éléments cristallins décimétriques (micaschistes, amphibolites) en quantité limitée. Des troncs d'arbres émergent de la masse au quart supérieur de la coupe.

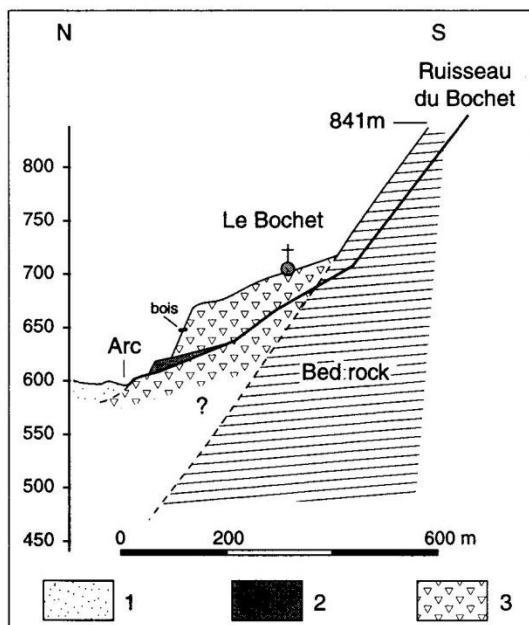


Fig. 8 : Coupe géologique longitudinale dans le ruisseau du Bochet. (1) : Alluvions actuelles de l'Arc, (2) : Cônes de déjection récents, (3) : Masse glissée.

Fig. 8 : Longitudinal geologic cross section in the Bochet stream. (1) : Present alluvial deposits of the Arc river, (2) : Recent alluvial cones, (3) : Landslide.

Cette formation pourrait être considérée comme une accumulation de laves torrentielles remobilisant les glissements de versant du Bochet. En fait, l'absence de stratification, du moins dans les ¾ inférieurs, nous oblige à l'identifier comme étant un vaste glissement brutal des flyschs, décrochement différentiel d'une partie du versant instable de Montricher.

La surface, en pente forte, est lissée par des épandages boueux et les divagations du torrent du Bochet.

L'apex du dépôt est aujourd'hui situé latéralement au petit torrent qui s'est encastré fortement sur le bord ouest de la masse glissée.

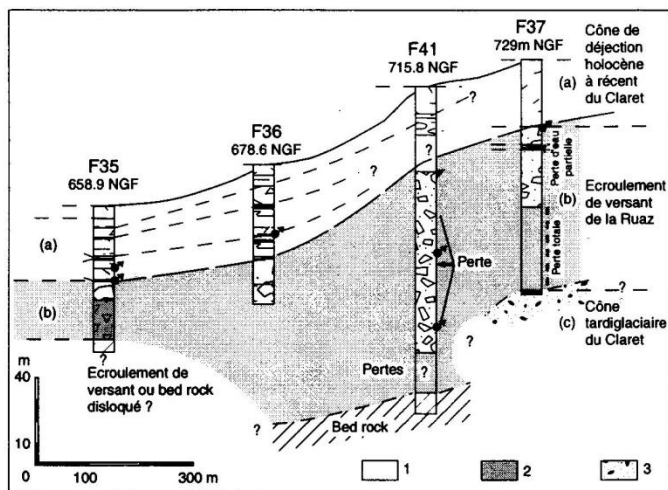


Fig. 7 : Le comblement de la vallée dans le secteur de La Ruaz. (1) : Cône de déjection holocène à actuel du Claret, (2) : Ecoulement rocheux, (3) : Cône de déjection tardiglaciaire du Claret.

Fig. 7 : Filling of the valley in the «La Ruaz» area. (1) : Holocene alluvial cone, (2) : Side fall, (3) : Tardiglacial alluvial cone.

Au débouché, dans le chenal de l'Arc, le torrent a construit deux cônes emboîtés. Ces derniers, à éléments locaux et à troncs d'arbres, sont très récents car ils contiennent des éléments métalliques et plastiques (crues de 1957, 1997...).

APPORT DU FORAGE EDF PROFOND DU CLARET (fig. 9)

La présence du forage EDF de 1978, placé dans la zone axiale aval du Claret, en rive droite de l'Arc, permet d'avoir une vision spatiale des dépôts quaternaires dans ce secteur. Le forage a rencontré de haut en bas :

- des matériaux de déjection du cône du Claret (de 670 m à 607 m) (a) ;
- des argiles lacustres (de 607 m à 571 m) (b) ;
- des matériaux d'un puissant écoulement (de 571 m à 503 m). Il s'agit probablement du niveau déjà décelé dans les forages amont du secteur de la Ruaz (c) ;
- des matériaux de déjection attribués au cône plus ancien du Claret (de 503 m à 462 m) (d), en continuité avec la formation à « galets de schistes et de calcschistes bien lavés » du secteur de la Ruaz ;
- enfin, une moraine de fond (?) (de 462 m à 455 m) (e).

La figure 9 synthétise ces données et met en évidence l'ampleur de l'écroulement de la Ruaz.

Dans cette reconstitution, seules les argiles lacustres posent problème. Elles impliquent en effet la présence à l'aval d'un barrage dont l'altitude minimale se situerait vers 610 m.

La jonction d'un cône ancien du Saint Julien en formation et du glissement du Bochet, disposés face à face, aurait permis le blocage temporaire des eaux de l'Arc, à l'image des cônes de l'Infernet et de la Vaudaine pour le lac de Bourg d'Oisans en Isère (Blanchard, 1913 ; Mathoulin, 1989). Ici, c'est obligatoirement au niveau du Bochet que s'est produit l'événement brutal.

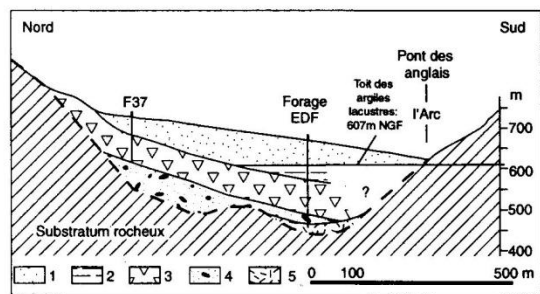


Fig. 9 : Coupe géologique transversale de la vallée au niveau du forage EDF profond du Claret. (1) : Cône holocène à récent du Claret, (2) : Argiles lacustres, (3) : Ecoulement de versant, (4) : Cône ancien du Claret, (5) : Moraine de fond (?).

Fig. 9 : Transversal geologic cross section of the valley close to the Claret EDF borehole. (1) : Holocene alluvial cone of the Claret, (2) : Lacustrine clays, (3) : Side fall, (4) : Old alluvial cone of the Claret, (5) : Basal till(?).

GÉOMÉTRIE DU BED-ROCK

La carte de la figure 10 qui représente le toit du bed-rock du secteur étudié, a été établie à partir de trois types de données :

- les données de sismique réfraction : nous avons extrait du travail de L. Barlet (1998) les points du toit du substratum rocheux relativement bien contraints. Un certain nombre de données n'ont pas été prises en compte car des réfractions latérales se sont avérées très probables ;
- les données des forages où le substratum a été reconnu, les autres forages n'apportant qu'une profondeur minimale du substratum ;
- la pente de la topographie des versants où affleure le substratum : elle a été alors extrapolée en profondeur.

Quatre éléments morphologiques principaux du bed-rock ressortent, de l'aval vers l'amont :

- la facette triangulaire, à l'Ouest du Saint Julien, qui pourrait se prolonger en profondeur. Elle est limitée, à l'Ouest, par le glissement de versant de Saint Barthélémy ;
- la présence d'un paléo-cours du Saint Julien dont l'entaille, à l'amont du village, est située à environ 50 m en altitude en-dessous du cours actuel. La direction d'écoulement était déjetée vers l'Est ;
- l'existence d'épaulements à la Ruaz et près de Serpollière, sans doute façonnés par l'érosion glaciaire ;
- une morphologie dépressionnaire, à l'aplomb du hameau des Cours. Il pourrait s'agir d'un paléo-thalweg du Claret.

RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE

LE CADRE LITHOSTRATIGRAPHIQUE

Une coupe longitudinale, parallèle à l'Arc, inclue toutes les observations (fig. 11).

- A l'aval, au niveau de Villard Clément, nous retrouvons les superpositions décrites précédemment sur la figure 4 (les formations du cône holocène du Saint Julien sur les alluvions « anciennes » de l'Arc). Au niveau du chantier de l'autoroute A43, un niveau de colluvions intercalé dans l'ensemble du cône ancien a fourni des charbons de bois ayant livré une datation C^{14} de 7856 ± 116 BP (ARC 1349, Ballandras, 1997). Cette datation radiochronologique dans les matériaux du cône holocène et celles obtenues par Alpetunnel à la base de la coulée boueuse majeure et dans les alluvions sous-jacentes de l'Arc (9050 ± 110 BP et 8990 ± 100 BP - ARC 1764 et 1775), accèdent la cohérence proposée et permettent de caler nos successions. Les alluvions « anciennes » reconnues ont donc un âge Préboréal à Boréal ancien tandis que le cône holocène était particulièrement actif durant le Boréal terminal et l'Atlantique ancien.

D'après les données géophysiques positionnant le bed-rock vers la cote 250 m, il est clair que sous les alluvions « anciennes » recoupées, se trouveraient près de 300 m de sédiments de nature inconnue. Nous devrions trouver, comme cela est classique dans les ombilics libérés par la déglaciation, des dépôts glacio-lacustres puis lacustres dans lesquels s'intriquent des apports torrentiels latéraux du Saint-Julien et du Claret. Dans cette hypothèse, de-

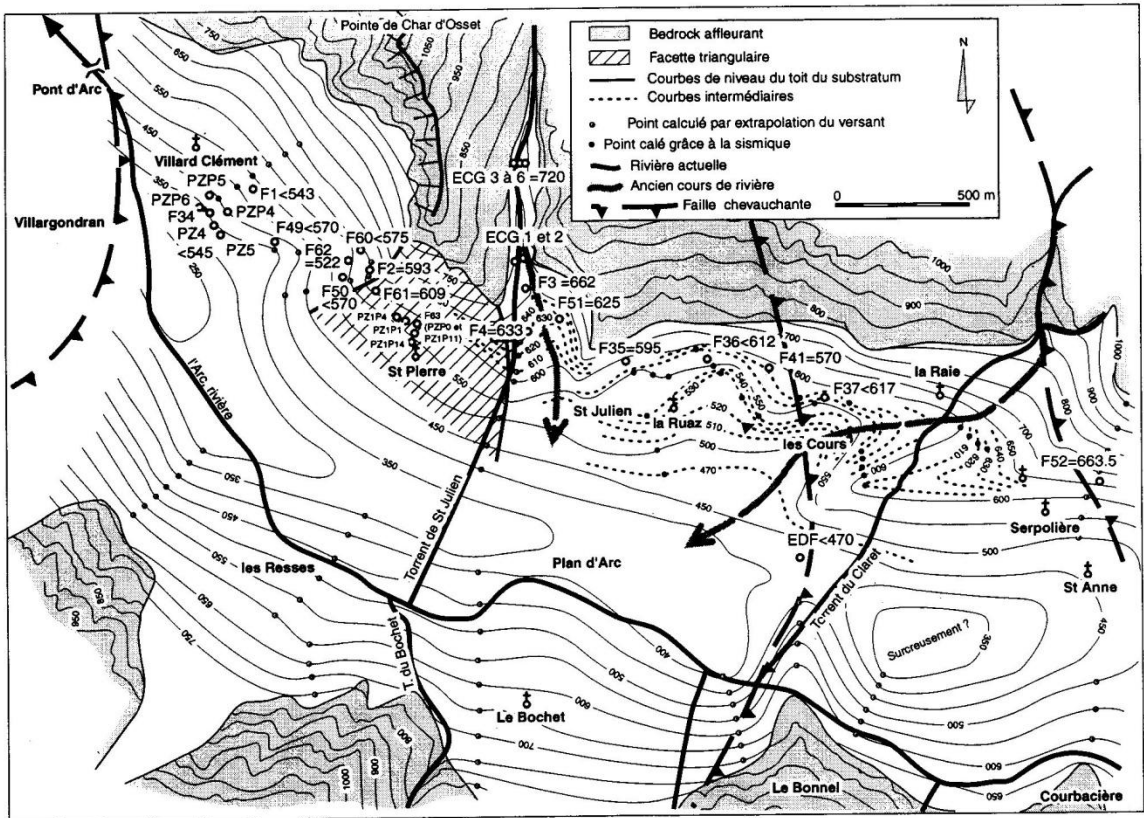


Fig. 10 : Carte du toit du substratum rocheux.
Fig. 10 : Map of the top of the bed-rock.

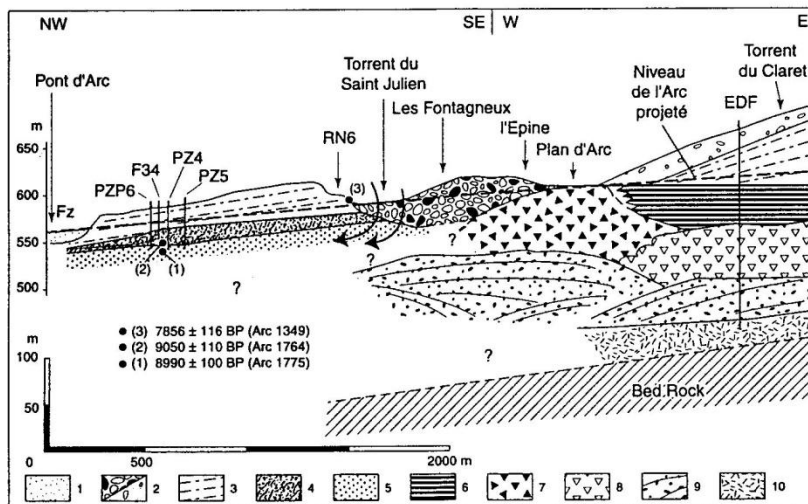


Fig. 11 : Coupe géologique schématique le long de la vallée de l'Arc entre Pont d'Arc et le Claret. (1) : Alluvions actuelles de l'Arc, (2) : Cônes récents du St Julien et du Claret, (3) : Cônes holocènes du St Julien et du Claret, (4) : Coulées boueuses majeures, (5) : Alluvions anciennes de l'Arc, (6) : Argilles lacustres, (7) : Glissement du Bochet, (8) : Ecoulement de la Ruaz, (9) : Cônes tardiglaciaires du St Julien et du Claret, (10) : moraine de fond (?).

Fig. 11 : Longitudinal schematic geologic cross section between Pont d'Arc and Le Claret torrent. (1) : Present alluvial deposits of the Arc river, (2) : Recent alluvial cones of the St Julien and the Claret torrents, (3) : Holocene alluvial cones of the St Julien and the Claret torrents, (4) : Main mud flow, (5) : Old alluvial deposits of the Arc river, (6) : Lacustrine clays, (7) : Le Bochet landslide, (8) : La Ruaz side fall, (9) : Tardiglacial alluvial cones of the St Julien and the Claret torrents, (10) : Basal till (?)

vraient se retrouver, sous les alluvions « anciennes » de l'Arc reconnues par leur sommet, hormis peut-être des argiles lacustres, des matériaux de déjection du cône le plus ancien du Saint Julien d'âge tardiglaciaire, contemporain du cône tardiglaciaire du Claret traversé sous l'écroulement de la Ruaz par le forage EDF.

- Dans la partie amont, les successions mises en évidence révèlent d'autres événements. Là, au-dessus d'une formation probablement morainique, à des formations issues du cône tardiglaciaire du Claret et à des matériaux éroulés massivement depuis le versant nord, se superposent des dépôts fins à caractères lacustres dans l'axe de la vallée et, enfin, des sédiments du cône holocène à actuel du Claret. Les alluvions fluviales grossières de l'Arc n'ont pu être identifiées dans les sondages. Elles sont, sans doute, encaissées dans les matériaux éroulés et dans les sédiments lacustres et repoussées en bordure du versant sud.

Entre ces deux complexes distants de plus de 1 km, les reconstitutions sont excessivement délicates faute de données profondes.

UNE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE

En comparant les différents corps sédimentaires, leur géométrie, les cotes de leur toit et de leur mur, quand ce dernier est connu, nous proposons l'évolution suivante :

- après le départ du dernier glacier, des dépôts morainiques tapissent le fond et les hauts versants de la vallée surcreusée,

- les torrents du Saint Julien et du Claret notamment débute la construction de leur cône de déjection tardiglaciaire dans un environnement lacustre (lac de retrait glaciaire dans le vaste ombilic de Saint-Jean-de-Maurienne) ;

- survient alors l'imposant éroulement tardiglaciaire de la Ruaz qui comble et barre largement la vallée vers l'amont ;

- la rivière Arc s'encaisse alors en une gorge étroite dans la masse éroulée contre le versant Sud ;

- puis la vallée se trouve barrée une nouvelle fois par la mise en place brutale du puissant glissement du Bochet qui s'appuie sur le cône en construction du Saint Julien ;

- se déposent alors les argiles lacustres à l'arrière du barrage créé, dans un lac de cote d'au-moins 610 m ;

- l'Arc est ensuite contrainte de s'encaisser dans les sédiments lacustres à l'amont pour régulariser son profil en long alors qu'à l'aval, elle reprend son alluvionnement sur la largeur de la vallée et déposent les alluvions « anciennes » reconnues dans les forages et datées autour de 9000 ans à Villard-Clément ;

- après un épisode de coulées boueuses majeures, les cônes de déjection holocènes poursuivent leur construction continue jusqu'à l'Atlantique, en tout cas après 7850 ans BP, en repoussant l'Arc vers le Sud ;

- enfin, un encaissement de l'Arc entraîne le creusement médian du cône holocène du Saint Julien, l'affouillement de la masse glissée du Bochet, la construction de la terrasse de Plan d'Arc

- et l'édification des cônes récents encastrés du Saint Julien et du Bochet. Quant à celui du Claret, il semble avoir un fonctionnement continu depuis l'écroulement de la Ruaz.

Malgré la médiocre qualité des descriptions originelles fournies par les très nombreux forages destructifs, il apparaît clairement :

- que la dynamique des versants l'emporte nettement sur la dynamique d'une rivière aussi puissante que l'Arc,
- et que de très nombreux phénomènes ont été enregistrés durant le Tardiglaciaire et l'Holocène, dans une vallée aussi étroite.

Cette reconstitution paléogéographique, la plus réaliste possible avec les données en notre possession, permet de proposer aux hydrogéologues une géométrie des corps sédimentaires apte à expliciter les circulations aquifères. En particulier, il est raisonnable de localiser l'alimentation de la nappe captive des alluvions « anciennes » de l'Arc à partir des matériaux du cône récent du Saint Julien.

REMERCIEMENTS

C. Crouzet tient à remercier Gilles Ménard pour les conseils et les nombreuses discussions qui ont alimentés les dix années de travail en commun.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMJO, R., LYON CAEN, H. et PAPANASTASSIOU, D., 1991 - A possible normal fault rupture for the 464 BC Sparta earthquake. *Nature*, 351.
- BALLANDRAS, 1997 - Contribution à l'étude des bassins versants torrentiels alpins. *Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnement de bassins versants depuis 15000 BP*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 552 p.
- BARBIER, R., 1948 - Les zones ultradauphinoises et briançonnaises entre l'Arc et l'Isère. *Mém. Service Carte Géol. de Fr.*, 37, 291 pages, 7 pl., 1 carte.
- BARFETY, J.C., BARBIER, R., BORDET, P., MELOUX, J., MOUTERDE, R. et VATTIN-PERIGNON, N., 1977 - Carte géologique de la France, (1/50 000), feuille Saint Jean de Maurienne (774), Ed. B.R.G.M., Orléans.
- BARLET, L., 1998 - Modélisation du substratum rocheux par tracé de rais en sismique réflexion. *Secteur de Saint Julien Montdenis. Tunnel de base liaison ferroviaire Lyon - Turin. Rapport de DESS géophysique appliquée*, Université Paris VI.
- BLANCHARD, R., 1913 - Le lac de l'Oisans. *Revue des Alpes dauphinoises*.
- BRAVARD, C., KERCKHOVE, C. et BARBIER, R., 1981 - Réinterprétation du sommet de la série des Aiguilles d'Arves et ses rapports avec la zone subbriançonnaise dans la vallée de l'Arc. (Savoie, Alpes occidentales). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 292, Série II, p. 531.
- DE LEPINAY, B., 1981 - Etude géologique dans la région des Gets et de Samoëns (Haute Savoie) : le rapport entre les Préalpes du Chablais et les unités delphino-helvétiques. Thèse 3ème cycle, Paris VI - Chambéry, 217 p.
- GOGUEL, J., 1968 - Les enseignements du glissement de Pontamafrey. *Bull. B.R.G.M.*, (2), II, 3, 55-62.
- HAMBLIN, W. K., 1976 - Patterns of displacement along the Wasatch fault. *Geology*, 4, 10, 619-622.
- MARNEZY, A., 1999 - L'arc et sa vallée. *Anthropisation et géodynamique d'une rivière alpine dans son bassin versant*. Thèse doc. état. géographie. Univ. J. Fourier, Grenoble, 681 p.
- MARTINEZ-REYES, J., FUDRAL, S., RAMPNoux, J.P. et TARDY, M., 1979 - Regard sur la stratigraphie du substratum du flysch des Aiguilles d'Arves entre Arc et Isère : conséquences paléogéographiques. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 298, 203-206.

MARTINEZ-REYES, J., 1980 - Contribution à l'étude géologique des Alpes occidentales entre Arc et Isère. Région du Mont Niéard et du Cheval Noir (Savoie). Le problème des unités à Flysch. Thèse de Docteur - Ingénieur, Univ. P. et M. Curie, Paris, inédit.

MATHOULIN, V., 1989 - La plaine de l'Oisans et le couloir de Livet. Géologie-Paléogéographie. Chronologie-Hydrogéologie. DUGG, Univ. J. Fourier, Grenoble.

MENARD, G., SANCHEZ, N., ANTOINE, P. et FABRE, D., 1994 - Traversée ferroviaire transalpine, tunnel de base Maurienne Ambin. Etude préliminaire, rapport Alpetunnel géotechnique n°3 (1993), fascicule 1, Géologie.

MOUGIN, 1914 - Les torrents de Savoie. Soc Hist. Nat. de Savoie, Chambéry, 1251 p.

PEREZ-POSTIGO, L.-V., 1988 - Contribution à l'étude géologique du subbriançonnais entre Arc et Isère. Les massifs du Perron des Encombres et de la Grande Moendaz, Alpes occidentales, Savoie, France. Travaux du département des sciences de la Terre de l'Université de Savoie, n°9, 129 p.

SERRE, A., 1983 - Evolution géodynamique d'un secteur de la paléomarge téthysienne dans les Alpes occidentales : les unités à flysch paléogène de la région de Saint Jean de Maurienne (Savoie). Trav. Dep. Sci. Terre Chambéry, n°1, 180 p.

WALLACE, R.E., 1977 - Profiles and ages of young fault scarps, north central Nevada. Geol. Soc. Am. Bull., 88, 9, 1267-1281.